

EXERCÍCIO: DISPERSÃO HIDRODINÂMICA – “Ensaio de coluna”

O ensaio de dispersão ou coluna é geralmente realizado para a determinação do coeficiente de dispersão hidrodinâmica  $D_{dh}$  e do fator de retardamento  $R_d$ .

O ensaio de coluna começa como um ensaio de permeabilidade a carga constante. Após a passagem de um volume de água igual a dois volumes de vazios do corpo-de-prova, ou após a regularização da vazão efluente, substitui-se a alimentação de água pela de uma solução de composição conhecida, mantendo-se o gradiente hidráulico aplicado. Monitora-se a concentração efluente ao longo do tempo, até que esta atinja o valor da concentração da solução aplicada ao corpo-de-prova. Um esquema ilustrativo do ensaio de coluna está apresentado na Figura 1.

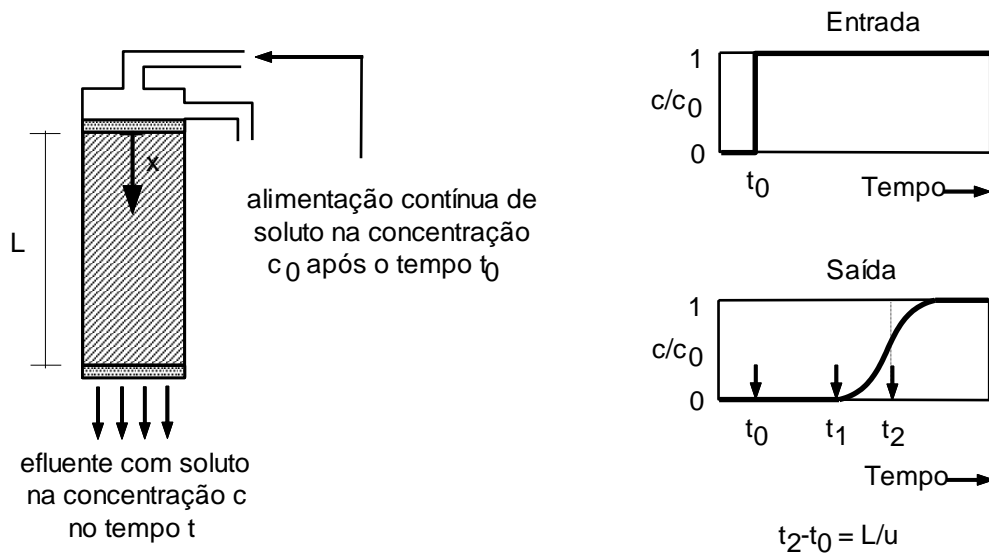


Figura 1 – Esquema ilustrativo do ensaio de coluna

Se houvesse apenas advecção, as partículas de soluto atingiriam a base da coluna após um intervalo de tempo igual a  $L/u$ ; observa-se, no entanto, que a concentração da solução na base da amostra de solo em função do tempo segue a curva indicada na Figura 1, denominada curva de eluição ou “breakthrough curve”. Algumas partículas caminham mais rapidamente e outras mais lentamente que a velocidade média de fluxo  $u$ , devido ao fenômeno da dispersão.

Não ocorrendo adsorção, a concentração relativa  $c/c_0$  atingirá o valor 0,5 no tempo  $t_2 = t_0 + L/u$  (sendo  $t_0$  o instante de aplicação da solução de concentração  $c_0$  no topo do corpo-de-prova); caso ocorra adsorção do poluente pelas partículas de solo, a “breakthrough curve” será retardada.

O ensaio de coluna também permite investigar a compatibilidade entre solo e solução, verificando-se se há variação na permeabilidade devido à interação entre solo e solução.

A seguir serão apresentados alguns métodos para obtenção dos parâmetros  $D_{dh}$  e  $R_d$ , todos baseados na equação de Ogata e Banks (1961).

- 1) Estimativa de  $R_d$  pela comparação entre a velocidade da água e a velocidade da frente de soluto

$$R_d = \frac{u}{u_s}$$

- $R_d$  fator de retardo  
 $u$  velocidade específica (=  $v/n$ )  
 $v$  velocidade de percolação ou de Darcy (=  $ki$ )  
 $n$  porosidade  
 $k$  coeficiente de permeabilidade ou de condutividade hidráulica  
 $i$  gradiente hidráulico  
 $u_s$  velocidade da frente de soluto (=  $L/t_{0,5}$ )  
 $L$  altura do corpo-de-prova  
 $t_{0,5}$  tempo para o qual  $c_e/c_0=0,5$   
 $c_0$  concentração da solução aplicada no solo  
 $c_e$  concentração efluente

- 2) Estimativa de  $D_{dh}$  quando  $R_d=1$  (utilização de traçadores, pH baixo etc.)

$$D_{dh} = \frac{1}{8} \left[ \frac{L - ut_{0,16}}{\sqrt{t_{0,16}}} - \frac{L - ut_{0,84}}{\sqrt{t_{0,84}}} \right]^2$$

- $t_{0,16}$  tempo para o qual  $c_e/c_0=0,16$   
 $t_{0,84}$  tempo para o qual  $c_e/c_0=0,84$

- 3) Estimativa de  $D_{dh}$  e  $R_d$  pela curva  $c_e/c_0 \times T$ .

Traça-se a tangente à curva no ponto  $c_e/c_0=0,5$ . O ponto de intersecção da tangente com o eixo das abscissas é  $R_d$ , e a tangente é:

$$b = \sqrt{\frac{P_L}{4\pi R_d^2}}$$

$$T = \frac{ut}{L} = \frac{V_e}{V_v} \quad e \quad P_L = \frac{uL}{D_{dh}}$$

- $T$  número de volume de poros  
 $V_e$  volume efluente  
 $V_v$  volume de vazios do corpo-de-prova  
 $P_L$  número de Peclet

Tendo em vista o exposto, pede-se:

- a) Determinar  $R_d$  e  $D_{dh}$  para uma areia ensaiada com uma solução de 0,086 g/L de cloreto de sódio, com base nos resultados experimentais a seguir:

Dados:  $u = 1,35 \times 10^{-4}$  m/s e  $L = 10$  cm

Tempo (s)	c/c0	Tempo (s)	c/c0	Tempo (s)	c/c0
660	0,04	740	0,16	820	0,92
670	0,04	750	0,23	830	0,94
680	0,04	760	0,33	840	0,96
690	0,04	770	0,46	850	0,97
700	0,05	780	0,6	860	0,99
710	0,065	790	0,72	870	1
720	0,10	800	0,84	880	1
730	0,12	810	0,88	890	1